

PRODUCTION OF FOAM

Publication number: JP10158760 (A)

Publication date: 1998-06-16

Inventor(s): EGUCHI TOYOAKI

Applicant(s): TOA STEEL CO LTD

Classification:

- **International:** *C04B38/00; C22C1/08; C04B38/00; C22C1/08; (IPC1-7): C22C1/08; C04B38/00*

- **European:**

Application number: JP19960325738 19961205

Priority number(s): JP19960325738 19961205

Abstract of JP 10158760 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To inexpensively produce foams of high melting materials (metals and ceramics) having excellent lightness in weight, air permeability and filtration characteristic and uniformly distributed spherical pores. **SOLUTION:** Metals or ceramics are melted in a melting furnace to obtain molten metal. Gases consisting of at least one kind of gases among gaseous hydrogen, nitrogen and oxygen, are applied to this molten metal and the total pressure 1 to 500atm of the gases is applied thereto to dissolve the gases. Casting molds are preheated to the respective m.p. of the metals and ceramics -200 deg.C to +50 deg.C. While the total pressure of the gases applied to the molten metal is maintained, the molten metal is poured into the casting molds preheated to the temp. described above. While the casting molds are cooled from at least one directions of the upper part, the lower part and the flank parts in the state of maintaining the total pressure of the gases applied to the molten metal, the molten metal is solidified under stirring so as to attain the uniform molten metal temp., by which the spherical pores of porosity of 50 to 98% and a diameter of 5 μ m to 10mm are uniformly dispersed into the molten metal. Further, fine particles to constitute the nuclei for foaming are added to the molten metal.

Data supplied from the *esp@cenet* database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-158760

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月16日

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

F I

C 2 2 C 1/08

C 2 2 C 1/08

B

C 0 4 B 38/00

3 0 4

C 0 4 B 38/00

3 0 4

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平8-325738

(22) 出願日 平成 8 年(1996) 12 月 5 日

(71) 出願人 000109820

トーズ・スチール株式会社

東京都千代田区五番町 6 番地 2

(72) 発明者 江口 豊明

宮城県仙台市泉区鶴が丘 4-11-28

(74) 代理人 弁理士 潮谷 奈津夫 (外 1 名)

(54) 【発明の名称】 発泡体の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 軽量性、通気性および汙過性に優れ、均一に分布した球状気孔を有する高融点物質（金属およびセラミックス）の発泡体を安価に製造する。

【解決手段】 (a)～(e)で製造する。(a)溶解炉内において金属又はセラミックスを溶解し溶湯を得る、(b)次いで、溶湯に対して水素、窒素および酸素ガスの内少なくとも1種のガスのみからなり、当該ガスの全圧力1～500気圧を加えガスを溶解させる、(c)鋳型を金属又はセラミックスの各融点-200℃～融点+50℃に予熱する、(d)次いで、溶湯に加えられたガスの全圧力を保持したまま、上記温度に予熱された鋳型に、溶湯を鋳込む、(e)溶湯に加えられたガスの全圧力を保持したまま、鋳型を上部、下部および側面部の内少なくとも一方向から冷却しつつ、溶湯温度が均一になるように溶湯攪拌しながら凝固さ、気孔率50～98%で、直径5μm～10mmの球状気孔を均一分散させる。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 下記(a)～(e)の工程よりなることを特徴とする発泡体の製造方法。

(a) 溶解炉内において金属またはセラミックスを溶解して溶湯を得る工程、

(b) 次いで、前記溶湯に対して水素、窒素および酸素ガスの内少なくとも1種のガスのみからなり、当該ガスの全圧力を1～500気圧の範囲内で加えることにより、前記溶湯に前記ガスを溶解させる工程、

(c) 鑄型を、前記金属または前記セラミックスのそれぞれの融点-200℃以上、融点+50℃以下の範囲内の温度に予熱する工程、

(d) 次いで、前記溶湯に加えられた前記ガスの全圧力を保持したまま、前記温度に予熱された前記鑄型に、前記溶湯を鑄込む工程、および、

(e) 前記溶湯に加えられた前記ガスの全圧力を保持したまま、前記鑄型を上部、下部および側面部の内少なくとも一方向から冷却しつつ、溶湯の温度が全域にわたって均一になるように溶湯を攪拌しながら凝固させることにより、気孔率50～98%で、直径5μm～10mmの球状気孔を凝固体中に均一に分散させる工程。

【請求項2】 請求項1記載の発明の工程に、更に、溶湯に発泡核となる微細粒子を添加する工程を付加することを特徴とする発泡体の製造方法。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】この発明は、発泡金属(合金を含む)および発泡セラミックスの製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】発泡金属および多孔質セラミックスは、それぞれ、金属中に発泡による無数の気泡を残留させた金属の一種、およびセラミックス中に無数の気孔を形成させたセラミックスの一種であり、いずれも軽量で通気性および滲透機能に優れた材料である。

【0003】このような発泡金属を製造する方法として次の①および②の方法がある。

①電気メッキによる製造方法

この方法では、発泡樹脂としてウレタンフォームを使い、これに導電処理を施すためにカーボンを塗布し、これを電気メッキ槽の中でニッケルメッキを施す。ニッケルメッキ後は600℃でばい焼して、ウレタンフォームを焼却し、更に、900℃の水素気流中で還元する。発泡基材にピッチ系炭素繊維のフェルトを用いる場合は、ピッチ系炭素繊維が導電性であるから導電処理は不要であるが、上記例と同様に順次、フェルトの洗浄、電気メッキ、ばい焼次いで還元工程を経て製造される。

【0004】このようにして得られた発泡金属を、Ni-Cd、Ni-H電池の電極の基板として用いると、Ni(OH)₂の正極活物質や、Cdや水素吸蔵合金等の

負極活物質を、気孔内に多量に充填することができるため、電池の小型化、高容量化を図ることができる。

【0005】②鑄造法による製造方法

この方法は、アルミニウムのような融点の低い発泡金属の製造で採用されている。即ち、金属溶湯へ空気を吹き込み、カルシウム等を添加して粘度を増加させた後、その融点近傍の温度において発泡剤を添加する。発泡剤としては、ガスを発生する水素化物や、水を含む天然鉱物を用いる。金属溶湯に発泡剤を添加すると直ちにガス気泡が発生するので、攪拌機で素早く溶湯を攪拌して気泡を分散させつつ凝固させる。

【0006】一方、セラミックスの多孔質体を製造する方法としては、

③焼結法による方法がある。この方法は、セラミックスを所定の粒度範囲に調製し、得られたセラミックス粉末を焼結して製造するのが一般的である。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記①～③の製造方法には、それぞれ次の問題がある。即ち、①電気メッキによる製造方法は、上述したように多数の工程からなっている。従って、この方法で製造される発泡金属を薄くスライスして作られる発泡金属板は高価なものになってしまうので、発泡金属の普及を妨げる一因になっていた。

【0008】②鑄造法による場合には、発泡剤が比較的低い温度でガスを発生してしまうので、アルミニウムのような融点の低い金属しか製造することができず、ニッケルや鉄などのように1000℃を超える高い融点を有する金属の発泡体製造は、これまで困難であった。また融点の高い金属の発泡体を製造する場合には、発泡剤としてチタン水素化物等のようにガス発生高温の高い物質を用いなければならない。ところがこのような発泡剤は高価であり、製造コストが高くなる。

【0009】③焼結法による発泡セラミックスでは、気孔率が50%程度のものしか製造することができず、軽量性および通気性に問題があった。従って、この発明の目的は、上述した問題を解決し、適切な製造工程により従来よりも安価に製造し、また従来は製造が困難であったり、発泡体が高価なため製造コストの高かった高融点の金属の発泡体を簡易な方法で製造し、より安価に製造する。そして、従来得られなかった、軽量で通気性に優れた高性能な発泡セラミックスを簡便に製造することができる方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明者等は、上述した観点から、全く新しい方法で、気孔の大きさおよび気孔率を制御することができる発泡金属および発泡セラミックスを簡便に製造する方法を開発すべく鋭意研究を重ね、次の知見を得た。即ち、当該物質を溶融し、得られた溶湯に適切な高圧下でガスを溶解させ、ガスを溶解さ

せたままの状態を溶湯を攪拌しながら冷却を制御しつつ凝固させることにより、希望する性状の発泡金属および発泡セラミックスを製造することができることを見出した。

【0011】本発明は上記知見に基づきなされたものであって、請求項1記載の発泡体の製造方法は、下記(a)～(e)の工程よりなることに特徴を有するものである。

(a) 溶解炉内において金属またはセラミックスを溶解して溶湯を得る工程、(b) 次いで、溶湯に対して水素、窒素および酸素ガスの内少なくとも1種のガスのみからなり、当該ガスの全圧力を1～500気圧の範囲内で加えることにより、溶湯にガスを溶解させる工程、

(c) 鋳型を、金属またはセラミックスのそれぞれの融点-200℃以上、融点+50℃以下の範囲内の温度に予熱する工程、(d) 次いで、溶湯に加えられた全圧力を保持したまま、上記温度に予熱された鋳型に、溶湯を鋳込む工程、および、(e) 溶湯に加えられたガスの全圧力を保持したまま、鋳型を上部、下部および側面部の内少なくとも一方向から冷却しつつ、溶湯の温度が全域にわたって均一になるように溶湯を攪拌しながら凝固させることにより、気孔率50～98%で、直径5μm～10mmの球状気孔を凝固体中に均一に分散させる工程。

【0012】請求項2記載の発泡体の製造方法は、請求項1に記載の発明に、更に、溶湯に発泡核となる微細粒子を添加する工程を付加することに特徴を有するものである。

【0013】

【発明の実施の形態】次に、この発明の製造方法を上述した通り限定した理由を説明する。

(イ) 溶湯に対するガスの全圧力=1～500気圧の範囲内に保持し、且つその圧力を保持したまま、所定の鋳型に鋳造し冷却し凝固させること：まず金属またはセラミックスを所定の方法で溶解し、次いで得られた溶湯に窒素、酸素および水素ガスの内少なくとも1種のガスを含み、その他のガスは実質的に含まないガス雰囲気を作る。このガス雰囲気の全圧力が1～500気圧の範囲内で、当該ガスを溶解させる。ガスの全圧力が1気圧未満ではガスの溶解量が少なく、高い気孔率の発泡体を得ることが困難である。一方、500気圧までの全圧力で所望の気孔率をもつ発泡体を得ることができる。それ以上の圧力を得るためには設備コストが高くなり、不経済である。従って、ガスの全圧力は1～500気圧の範囲内とする。

【0014】図1にFe中の水素の溶解度を、種々の水素圧力の場合について例示する。Feの融点は1539℃程度であり、水素溶解度は固体Feでは水素圧力の大小に依らず小さいが、液体Feになると急激に大きくなる。しかも、液体Fe中の水素溶解度は水素圧力が大き

くなるほど大きくなることがわかる。従って、固体Fe中に多量の水素ガスを残留させるためには、液体状態のFeに加えていた水素圧力をそのまま保持して凝固させなければならない。

【0015】溶湯中へのガスの溶解度は、ガス-溶湯物質の組み合わせに応じて、温度およびガスの圧力により定まる。そして固体内に残留するガス量は主に上記組み合わせとガス圧力により決まるので、これにより気孔率を調整することができる。

【0016】溶湯種がFeでガス種が水素の場合に限らず、溶湯が金属またはセラミックスでガスが水素、窒素および酸素の場合にはこれと同じ傾向の挙動をする。従って、(イ)の条件が必要である。

【0017】(ロ) ガス種を水素、窒素および酸素の内から少なくとも一種を選び、且つ溶湯を攪拌しながら冷却・凝固させること：溶湯に溶解させるガス種は、当該ガスを含有した溶湯(金属溶湯またはセラミックス溶湯)が凝固するときに、共晶反応を起こすことが必要である。溶湯が凝固するときに共晶反応を起こす場合には、当該溶湯物質の固相と当該ガス相とがミクロ的に層状に析出する、所謂共晶組織を形成する。共晶組織を形成する場合には、凝固時、即ち、当該溶湯が純金属等純物質または全率固溶体を形成する多元系合金等多元系物質(以下、「純物質等」という)の場合には融点において、全率固溶体を形成しない多元系合金等多元系物質(以下、「多元系物質等」という)の場合には固液が共存層する液相線温度以下、固相線温度以上の温度域において、溶湯を攪拌する。そして、溶湯の攪拌により溶湯バルク内温度を均一化させると共に、固液界面または固液共存層内の温度勾配を小さくすることにより、気泡核を溶湯バルク全域にわたって同時に発生させて球状気泡を均一に分散させると共に、固液界面に生成したガス相または共晶組織のガス相が柱状に成長するのを阻止することができる。

【0018】水素、窒素および酸素は、Fe、Ni、Cu、AlおよびMo等の金属やアルミナおよびマグネシアと共晶反応を起こすガスである。図2に、Cu-H系の二元系平衡状態図の模式図を示す。同図において、MはCuを表わす。本発明の方法をCu-H系に適用し、溶湯内の小領域に注目すると、同図中、直線mに沿って溶湯温度をゆっくり下げていき、共晶温度P点になると温度低下が停滞し、球状気泡が全域に形成されて凝固が完了し、再度温度が低下していき、Cuの発泡金属が得られる。

【0019】溶湯の攪拌は電磁誘導により攪拌してもよいし、プロペラ等で機械的に攪拌してもよい。図3に、本発明による溶湯の凝固過程におけるミクロ状態模式図を示す。融点または凝固温度において共晶反応を起こすので、液相Lの中に無数の固相Sとガス相Gとが析出しそれぞれ成長する。凝固中、ガス相は成長して気泡とな

り残留し、固相はその周囲を埋めつくして凝固が完了する。

【0020】しかしながら、共晶反応以外の凝固組織を形成するガス種の場合には、凝固時に固相とガス相とがミクロ的に共存せずマクロ的に二相に分離する。従って、凝固体内部に気泡を分散形成させることは困難である。

【0021】(ハ) 鋳型の温度を、当該金属またはセラミックスのそれぞれの融点 -200°C 以上、融点 $+50^{\circ}\text{C}$ 以下の範囲内に予熱すること：鋳型としては熱伝導性を確保することができる材質のものを使用する。鋳型の温度は溶湯が純物質等の場合には融点 -200°C 未満、多元系物質等の場合には液相線温度 -200°C 未満の温度では、凝固核が鋳型壁で多数発生し、凝固速度にむらができて均一な大きさの気泡が得られない。一方、鋳型の温度がそれぞれ、融点または液相線温度 $+50^{\circ}\text{C}$ 超えの温度では、凝固開始までに時間を要し、生産効率が低下したり鋳型寿命が短くなったりする。従って、鋳型を溶湯の融点または液相線温度 -200°C 以上、融点または液相線温度 $+50^{\circ}\text{C}$ 以下に予熱することが必要である。

【0022】(ニ) 金属またはセラミックス中に均一に球状の気孔を形成させ、気孔の直径 $=5\mu\text{m}\sim 10\text{mm}$ 、気孔率 $=50\sim 98\%$ であること：気孔の形態が例えば柱状的に方向性を持つと、遮断性及び吸音性にとって不都合であり、電磁波シールド材や防音壁といった用途に適さない。従って、気孔はできるだけ方向性を持たないものとし、本発明では球状気孔とする。

【0023】ここで、球状気孔とは、厳密な球体の形状のみを指すのではなく下記二種を総称するものである。第一種：断面形状がある程度球に近いもの乃至ある程度楕円に近いものを全て含み、且つ長径と短径との比が3以下のもの。

【0024】第二種：第一種の気孔が複数個連通したもの。一定値以上長く連通し、製品内部を貫通するものをオープンセルという。

第一種および第二種の形態はいずれも、発泡金属および発泡セラミックスが軽量性、通気性および汜過機能確保するために必要なものである。

【0025】溶湯の温度およびガス圧力を、金属-ガス系またはセラミックス-ガス系の種類に合わせて適宜選択することによりガスの溶解量を制御することができる(例えば、図1参照)。従って、発泡金属および発泡セラミックスの気孔の大きさおよび気孔率を制御することができる。気孔径は $5\mu\text{m}$ 未満では、オープンセルであっても通気性が悪くなり、一方、 10mm より大きくなると材料強度を確保するのが困難になる。従って、気孔径は $5\mu\text{m}\sim 10\text{mm}$ の範囲内とする。溶湯の冷却速度が大きいほど小さい径の気孔が得られ、冷却速度が小さいほど気孔は成長するので大きい径の気孔が生成する。

【0026】また気孔率が 50% 未満では軽量性、通気性に劣り、一方、 98% を超えると材料強度を確保するのが困難である。従って、気孔率は $50\sim 98\%$ の範囲内とする。溶湯内の気泡率が高くなると、溶湯の表面張力により気泡の膜が破裂して、気孔同士が連通したいわゆるオープンセルができる。オープンセルの形成は溶湯の粘度に依存するので、連通しない独立孔を形成させるときは、CaやMg等を添加して増粘してやる。

【0027】(ホ) 溶湯の冷却を鋳型の上部、下部および側面部の内少なくとも一方向から行なうこと：溶湯の冷却は、少なくとも一方向から行なえばよい。上下側面の3方向から行なっても、溶湯は凝固完了まで攪拌されているので、引け巣等の内部欠陥を生じることはない。従って、溶湯の冷却方向は鋳型の上部、下部および側面部の内少なくとも一方向から行なえばよい。なお、冷却は窒素やアルゴン等のガス、または、ミストや水等の冷却媒体を用いて行なう。

【0028】(ヘ) 溶湯に発泡核となる微細粒子を添加すること：気孔の発生を容易ならしめるため、溶湯の融点または液相線温度よりも融点が高い炭火物、窒化物あるいは酸化物等の微細粒子を適宜添加することが望ましい。これらの微細粒子は気孔の発生核となり、気孔の分布を均一にするからである。

【0029】

【実施例】次に、この発明の発泡体の製造方法を、実施例によって更に詳細に説明する。図4に、実施例および比較例の方法を試験するために用いた溶解・鋳造装置の概略縦断面図を示す。装置全体が高压容器1の中に入っている。溶解炉2により各種金属またはセラミックスを溶解する。得られた溶湯4にガス添加管5よりボースレンガ6を通して水素、窒素または酸素ガスを適宜吹き込みながら高压容器1内の圧力を所定圧力まで高めて当該ガスを添加する。このようにして所定濃度のガスを溶解させた溶湯4を収容した溶解炉2を傾動し、タンディッシュ7を経由して鋳型8に注入する。鋳型8はヒーター3'により予め適温に加熱しておく。鋳型8の外側には電磁攪拌装置9が備えられており、鋳型8に注入された溶湯4"は電磁攪拌装置9により上下方向に流動攪拌される。矢印10は溶湯4"の攪拌方向を示す。一方、鋳型8の下部に冷却媒体11を吹きつけ、電磁攪拌されつつある溶湯4"を冷却する。溶湯4"は鋳型下部から上方に向かって一方向に冷却される。溶湯4"の冷却および凝固に伴い、溶湯内部全域に気泡核が発生する。高压容器1内のガス圧力は凝固完了まで上記所定圧力に保持し、溶湯の冷却・凝固時に溶湯からガスが抜け出すのを抑制する。

【0030】上記試験装置を用い上記方法により発泡金属および発泡セラミックスを製造した。表1に、本発明の範囲内である実施例No. 1~10および本発明の範囲外である比較例No. 1~3の各発泡体の製造条件、およ

び得られた発泡体の性状（気孔形態、気孔径および気孔率）を示す。なお、各溶湯の融点（または液相線）+50℃から融点（または液相線）-250℃までの温度区間を、0.01~100℃/secの平均冷却速度で冷

却した。

【0031】

【表1】

	No.	溶湯種類	添加ガス	ガス添加温度(℃)	ガス圧力(atm)	添加微粒子	鋳型温度(℃)	溶湯成分	冷却媒体	冷却方向	気孔形態	気孔径	気孔率(%)
実施例	1	Ni	H	1800	50	—	1400	あり	ミスト	下	球状	0.5mm	60
	2	Ni	H	1550	460	—	1420	あり	空気	“	“	8mm	95
	3	Ni	H	1500	1.2	—	1450	あり	水	“	“	7μm	50
	4	Ag	O	1100	10	TiC	960	あり	窒素ガス	“	“	70μm	65
	5	Al	H	700	150	—	640	あり	空気	“	“	8mm	85
	6	Fe-10%Ni	N	1650	250	—	1450	あり	窒素ガス	上、下	“	0.5mm	95
	7	Cu	H	1100	20	Al ₂ O ₃	1060	あり	ミスト	横、下	“	30μm	75
	8	ステンレス鋼	N+H	1600	100	TiN	1500	あり	窒素ガス	横	“	1.2mm	80
	9	Al ₂ O ₃	H	2200	150	—	2000	あり	窒素ガス	下	“	0.7mm	65
	10	HgO	H	2900	200	—	2800	あり	窒素ガス	“	“	0.3mm	75
比較例	1	Fe	H	1600	25	—	1300	あり	水	横	柱状混入	30μm	70
	2	Ni	H	1550	0.8	—	1430	なし	空気	下	球状	0.2mm	45
	3	Al	H	700	50	—	630	あり	窒素ガス	下	柱状混入	0.8mm	70

【0032】実施例No.1においては、1800℃のNi溶湯に50気圧で水素を添加し、これを1400℃に均一に予熱した鋳型に鋳込んだ。鋳型に鋳込まれたNi溶湯を電磁攪拌しながら、鋳型の底面に水を微細な粒子としたミストを吹付けて均一に冷却し完全凝固させた。これによって直径0.5mmの球状の気孔を有し、気孔率60%の発泡ニッケルを得ることができた。この発泡ニッケルの気孔の形態および分布状態の模式図を図5に示す。このような発泡金属の用途としては、例えば、軽量化金属として、また、構造用部材として使用される。

【0033】実施例No.2においては、1550℃のNi溶湯に460気圧で水素を添加し、これを1420℃に均一に加熱した鋳型に鋳込んだ。鋳型に鋳込まれたNi溶湯を電磁攪拌しながら、鋳型の底面に空気を吹付けて均一に冷却し完全凝固させた。これによって直径8mmの球状の気孔を有し、気孔率95%の発泡ニッケルを得ることができた。この発泡ニッケルの気孔の形態および分布状態の模式図は図6に示すように、気孔が連通したものであった。この発泡ニッケルを厚さ1.0mmの板にスライス切断してNi-H電池の正極に使用した。これは従来品より安価であり、且つ金属骨格が3次元網目状に形成されて、気孔が表裏に貫通しているためNi

(OH)₂の充填もスムーズであり、電圧低下の小さい優れた電極性能を示した。このような発泡金属はまた、フィルター等にも使用される。

【0034】実施例No.3~10においては、鋳型冷却装置を一部変更し、冷却媒体あるいは冷却方向を変え、実施例No.1および2に準じた方法で発泡体を製造した。但し、実施例No.4、7および8では、溶湯にそれぞれTiC、Al₂O₃およびTiNの微粒子を添加した。また、溶湯の種類を一部変更した。その他の製造条件は表1に示した通りである。いずれも球状の気孔を有し、所望の性状の発泡体を得ることができた。

【0035】これに対して比較例No.1では、鋳型温度が溶湯金属、鉄の融点-200℃より低かったため、鋳型壁から結晶粒が成長し、発泡鉄の一部に柱状の気孔が混入して形成された。

【0036】比較例2では、水素ガス添加圧力が低く本発明の範囲外であったため、発泡ニッケルの気孔率が50%未満であった。比較例No.3では、鋳型内溶湯の冷却・凝固中に溶湯を攪拌しなかったため、発泡アルミニウムに柱状の気孔が混入して形成された。

【0037】

【発明の効果】以上述べたように、この発明によれば、

従来製造が困難であったり、コストが高かったりした高融点の金属の発泡体、軽量性および通気性において十分満足することができなかったセラミックスの発泡体、並びに、多種類の金属、合金およびセラミックスの発泡体を、高圧下における溶解、鋳造および凝固という簡単な工程により簡便に製造する方法を提供することができ、工業上有用な効果がもたらされる。

【図面の簡単な説明】

【図1】種々の水素圧力の場合の、Feの温度と水素の溶解度との関係を示すグラフである。

【図2】Cu-H系の二元系平衡状態図の模式図である。

【図3】本発明による溶湯の凝固過程における内部のミクロ的モード図である。

【図4】実施例および比較例の方法を試験するために用いた溶解・鋳造装置の概略縦断面図である。

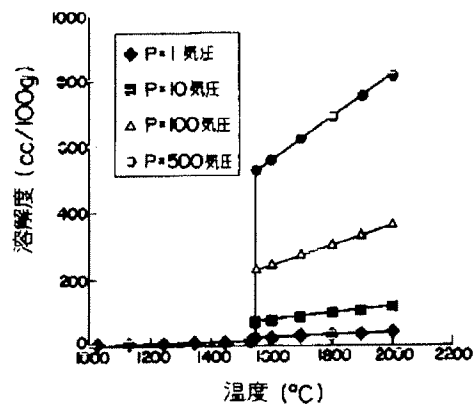
【図5】本発明の方法により得られた球状気孔を有する発泡ニッケルの気孔の形態および分布状態を模式的に示す外觀図である。

【図6】本発明の方法により得られた連通した球状気孔を有する発泡ニッケルの気孔の形態および分布状態を模式的に示す外觀図である。

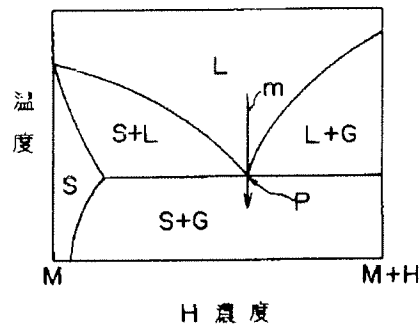
【符号の説明】

- 1 高压容器
- 2 溶解炉
- 3、3' ヒーター
- 4、4'、4" 溶湯
- 5 ガス添加管
- 6 ポーラスレンガ
- 7 タンディッシュ
- 8 鋳型
- 9 電磁攪拌装置
- 10 攪拌流
- 11 冷却媒体
- 12 冷却媒体供給管
- 13 冷却媒体排出管
- 14 ガス排気管
- 15 球状気孔
- 16 連通した球状気孔
- 17 ニッケル金属
- L 液体
- S 固体
- G 気体

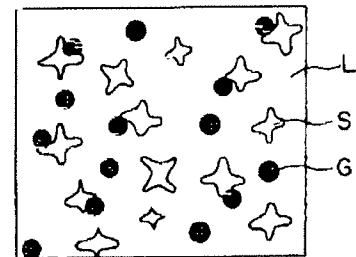
【図1】



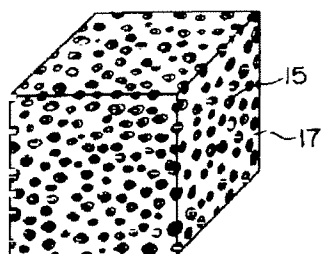
【図2】



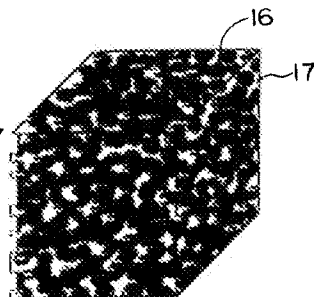
【図3】



【図5】



【図6】



【図4】

